

ディーゼルエンジン用シリンダヘッドガスケットの 温度特性に関する実験的研究 —加熱冷却サイクル・定常運転時の特性について—

若林 克彦*・児玉 知明**・西原 公*
 本山 順朗***・長谷 高秀***・貴島 敬****

An Experimental Study on the Dynamic Characteristics of Cylinder Head Gaskets for High-speed Diesel Engine —Temperature Characteristics in Heating and Cooling Cycle by Abrupt Exchange of Cooling Water and in Steady Operation—

Katsuhiko WAKABAYASHI*, Tomoaki KODAMA**, Tadashi NISHIHARA*,
 Yoshiaki MOTOYAMA***, Takahide NAGAYA*** and Takashi KIJIMA****

Abstract: Experiments on a small, one-cylinder, high-speed diesel engine were performed by changing the temperature of cooling water and also by changing the material and configuration of the cylinder head gaskets (hereafter called “the gaskets”). The temperature characteristics of three kinds of the gaskets were investigated on the experimental basis. The temperature at the peripheral region of the gaskets was abruptly changed by exchanging the cooling water according to the experimental conditions. The temperatures at several points of the gasket and its peripheral region, the temperature of the cylinder head bolts, the relative displacement between the cylinder head and the cylinder block, the loads of the cylinder head bolts, the indicator diagram were measured on the above-mentioned, experimental conditions. The sealing characteristics in the transient state and the steady state of the cooling water temperature were investigated from an experimental standpoint. And the effect of the temperature differences among the cylinder head, cylinder block and head bolts on the loads of the head bolts and the relative displacement between the cylinder head and cylinder block are considerably revealed for the test gaskets.

Keywords: Diesel Engine, Engine Component, Experiment/Cylinder Head Gasket, Dynamic Characteristics, Parts, Seal, Temperature, Bolt Load, Relative Displacement, Combustion Pressure

要 旨: 本論文では、エンジンの冷却水を温水または冷水へ交互に瞬時に入れ換えることにより、冷却水温度を急激に変化させる過渡運転および冷却水を交換しない定常運転において、3種類のガスケット周辺の温度、ヘッドボルトの温度、ヘッドボルトの軸力、燃焼圧力、シリンダヘッドおよびシリンダブロック間の相対変位などの特性試験を行い、その考察結果から以下の結論を得た。(1) エンジン停止後のガスケット温度は、停止してから各測定点でほぼ一定温度となり、その後一本の束となって低下する。(2) 実機運転時の各ガスケットの温度は、スチールベストガスケット、ソフトラミネートガスケット、メタルガスケットの順に温度が高くなっている。(3) エンジン冷却水温度を急激に変化させた加熱・冷却サイクル中における冷却水温度変化への追従性は、メタルガスケットが一番良く、次にソフトラミネートガスケット、スチールベストガスケットの順である。(4) 冷却水を冷水に入れ換える前のシリンダヘッド、シリンダブロックおよびヘッドボルトの各位置における温度はほぼ一定の温度差がある。また、排気側と吸気側との温度が一番大きい

* 工学部機械工学科 教授 工学博士
 Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Dr. of Engineering

** 工学部機械工学科 技術職員
 Technical Staff, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering

*** 大学院工学研究科修士課程機械工学専攻 大学院生
 Graduate Student, Program in Mechanical Engineering, Graduate School of Engineering

**** 市光工業株式会社
 Development Engineer, Ichikoh Industries LTD.

のはシリンダヘッドである。(5)冷却水を冷水に入れ換えた直後にヘッドボルトの軸力は低下する。これは、シリンダヘッドとヘッドボルトの温度差が大きくなることに起因している。(6)シリンダヘッドとシリンダブロック間の相対変位はヘッドボルトの軸力の低下量に大きく影響される。

1. はじめに

自動車用ディーゼルエンジンの高出力化は最高燃焼圧力および熱負荷を増加させた。また、エンジンのアルミニウム化や駄肉の除去による軽量化はシリンダヘッドおよびシリンダブロックの剛性を低下させた。その結果、シリンダヘッドガスケット（以下、ガスケットと呼ぶ）を取り巻くシーリング（Sealing）環境は悪化し、ガスケットに起因するガス漏れ等のエンジントラブルを引き起こす原因となっている^{[1]~[5]}。その上、排気ガス対策の立場から、ガスケットは、その締付時の厚さおよび燃焼ガスシール部、穴径等の寸法公差を厳しくすることが要求され、これまで重要視されなかったガスケット締付時の寸法公差精度を向上させなければならない状況にある^{[6],[7]}。さらに、保守の面からヘッドボルトの増締が不要なへたりの少ないガスケット、ガス漏れがなく耐久性のあるガスケットが要求されている^{[8]~[10]}。本研究では、構造および材質の異なる3種類のガスケットを対象としてエンジン運転中に冷却水を温水または冷水と瞬時に入れ換えることにより、冷却水温度を急激に変化（以下、加熱・冷却サイクルと呼ぶ）させる運転^[11]および定常運転時にガスケット周辺の温度^{[12],[13]}、シリンダヘッドボルトの温度、シリンダヘッドボルトの軸力、シリンダヘッドとシリンダブロック間の相対変位および燃焼圧力等の測定結果から、過渡的および定常状態における

ガスケットの温度特性について検討することを目的とする。

2. 供試ガスケットの構造

本章では実験対象とした3種類のガスケット断面構造の概要について説明する。なお、Figs. 1(a), (b)は供試ガスケットの形状および概略寸法を示す。

2.1 ベースシート部の構造

Table 1に示した3種類のガスケットはベースシート部および材質を考慮して、それぞれスチールベストガスケット（Soft Facing Gasket Perforated Core）、ソフトラミネートガスケット（Soft Facing Gasket Flat Core）およびメタルガスケット（Metal Gasket）と呼ぶ^{[14]~[17]}。

(1) スチールベストガスケット

このガスケットのベースシートは、鋼板の両面に所定のピッチでおろし金型の突起を持つ芯材（フック（Hook）加工芯材）に非石綿繊維および充てん剤の混合物（コンパウンド（Compound））をロールですり込んで一体構造としたガスケットで圧縮性が良く、なじみ性の良いガスケットである。

(2) ソフトラミネートガスケット

このガスケットは、芯材に突起のないフラットな鋼板を用い、非石綿繊維および充てん剤を混合した表面材を圧着して一体構造としたものである。

(3) メタルガスケット

3枚のゴムコーティングしたステンレス鋼板に2枚の

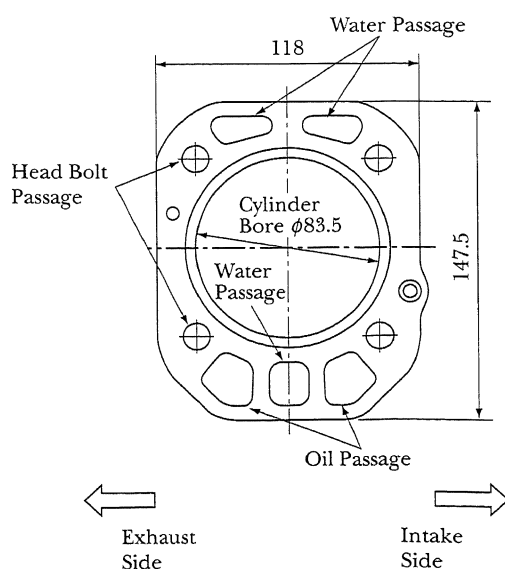


Fig. 1(a) Shape and Dimensions of the Test Cylinder Head Gasket (Soft Facing Gasket Perforated Core)

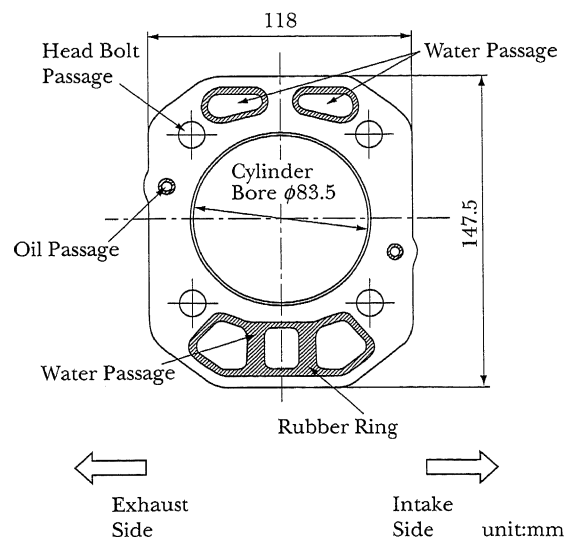


Fig. 1(b) Shape and Dimensions of the Test Cylinder Head Gasket (Soft Facing Gasket Flat Core, Metal Gasket)

Table 1 Cross Section Construction of Test Cylinder Head Gaskets

Name of Gasket	Base Sheet	Combustion Gas Seal	Water or Oil Seal
Soft Facing Gasket Perforated Core	Soft Facing Perforated Core	Stainless Armor Wire Ring	
Soft Facing Gasket Flat Core	Soft Facing Flat Core	Stainless Armor Wire Ring	Rubber Ring
Metal Gasket	Stainless Steel	Stainless Armor Wire Ring	Rubber Ring

ステンレス鋼板を挟み込んだ5枚構成の積層構造である。ガスケット表面をシリンダヘッドおよびシリンダブロック表面ならびに芯材同士が直接金属接触することを防止するためにフッ素ゴムでコーティングを施してある。

2.2 燃焼ガスシール部の構造

ガスケットの燃焼ガスシール部は、その構造により複合型、補強型に分類することができる。複合型はベースシートを単にステンレスのみで被覆した形式であるのに対し、補強型はステンレスの中にワイヤーリング (Wire Ring) を入れて補強した型式であるので、複合型と比較してへたりが小さい。

2.3 水・油穴シール部の構造

スチールベストガスケットの水・油穴シール部のベースシートは打ち抜き加工のままの構造、ソフトラミネートガスケットおよびメタルガスケットは水・油穴シール部ともにラバーリング (Rubber Ring) を施した構造となっている。

3. 実験装置および方法

Table 2 に示した諸元を持つ供試エンジン (単シリンダ横型直接噴射式ディーゼルエンジン、最高出力 5.58 kW/2600 r/min) に供試ガスケットを装着し、ヘッドボルトを締付トルク 80 Nm で締め付けた。Fig. 2 は測定システムの概略図を示す。

3.1 定常運転による特性試験

供試エンジンを始動させ、5分間暖機運転 (800 r/min) の後、1/2 負荷 (1400 r/min) で運転を行い、各測定点、冷却水および潤滑油温度がほぼ一定となったところで、エンジンの運転を停止した^[17]。この一連の運転中において、ガスケット周辺 (シリンダヘッド下面およびシリンダブロック上面) の温度^{[12],[13]}、ヘッドボルトの温度、ヘッドボルトの軸力、ギャップセンサーによるシリンダヘッドとシリンダブロック間の相対変位およびインジケータによる燃焼圧力、さらに潤滑油ならびに冷却水温度を測定した。温度測定には、K 熱電対を採

Table 2 Main Specifications of the Tested Engine

Items	Specifications
Type of Engine	High-Speed Diesel Engine, Direct Injection, 4 Stroke Cycle, Horizontal, Water Cooled
Number of Cylinder	1
Bore and Stroke	mm 78 × 80
Total Stroke Volume	m ³ 0.000382
Maximum Brake Output	kW/r/min 5.58/2600
Material of Cylinder Head	Cast Iron
Material of Cylinder Block	Aluminum Alloy

用し Fig. 2 に具体的に示すように、シリンダヘッド下面およびシリンダブロック上面の吸気側、排気側に分けて7箇所、ヘッドボルトに関しては吸気側、排気側の各2箇所、さらにオイルパンおよびラジエータに熱電対を取り付けた。また、ヘッドボルトの軸力測定をするために、ひずみゲージを吸気側および排気側のヘッドボルトの各2箇所に温度補償用のダミーゲージと合わせて接着した (以下、特性試験 I と呼ぶ)。

3.2 加熱・冷却サイクルを導入した運転による特性試験

特性試験 I の場合と同様に、まず5分間暖機運転 (800 r/min) し、その後1/2 負荷 (1400 r/min) で運転し、さらに5分経過したところで、加熱・冷却サイクルを導入した運転モードに移る^{[11],[14]~[17]}。まず初めに冷却水を 373 K の温水に入れ換え、エンジンを急加熱させる。さらに10分経過した後、273 K の冷水に入れ換え、エンジンを急冷却させる (Fig. 3 参照)。この温水・冷水の入れ換えパターン繰り返して、急加熱・急冷却を交互かつ急速に行うことにより、ガスケット周辺の温度を急激に変化させ、過渡的な温度状態において各種実験を行った。測定については、前述の定常運転時の特性試験と同様である。なお、Fig. 2 に示すように渦電流式

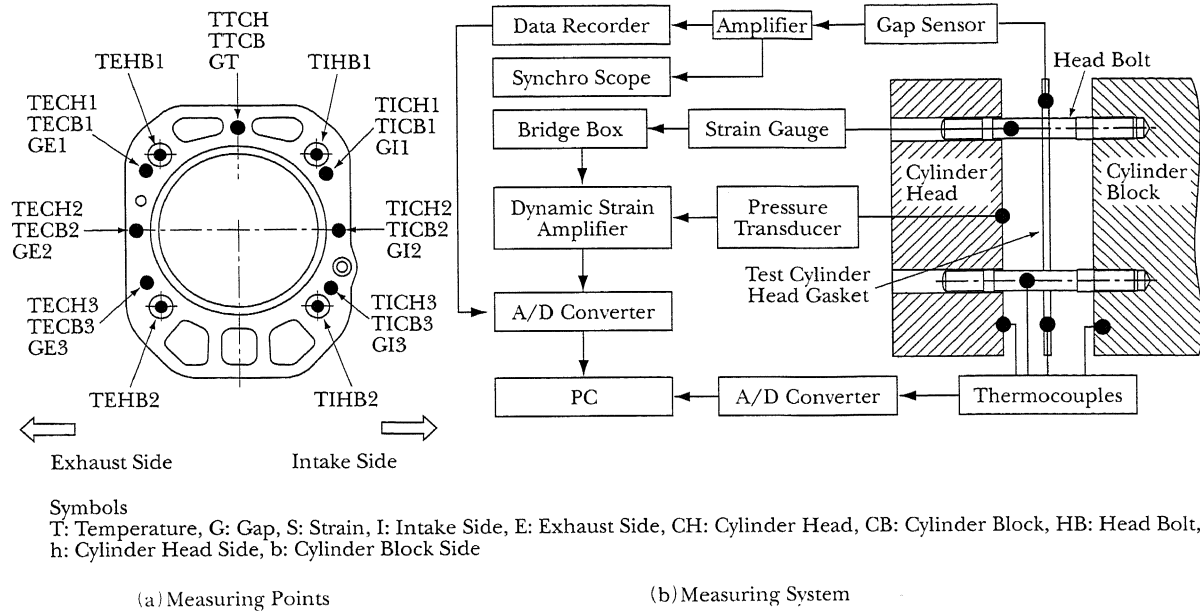


Fig. 2 Measuring Points and A Schematic Diagram of Measuring System

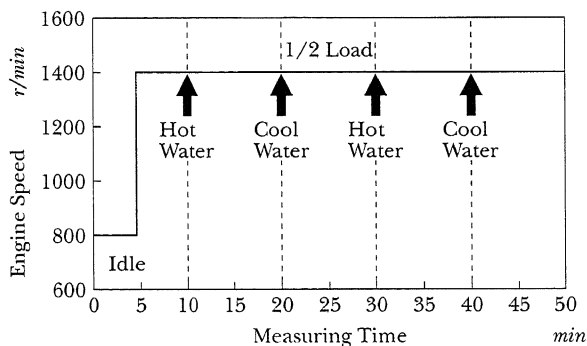


Fig. 3 Engine Operating Condition

の微小変位センサー（ギャップセンサー）[4]をガスケットに埋め込み、このギャップセンサーによりエンジン運転時におけるシリンダヘッドとシリンダブロック間の相対変位を測定した。Table 3 にギャップセンサーの主要諸元を示す。また、シリンダヘッドおよびシリンダブロックの温度測定箇所と対応させて7箇所に取り付けた。（以下、特性試験Ⅱと呼ぶ）。

4. 実験結果

4.1 特性試験Ⅰの結果および考察

(1) 温度測定結果および検討

Fig. 4～Fig. 6 は Fig. 2 に示す測定点における3種類のガスケットの各測定点温度、冷却水および潤滑油温度の測定結果を示したものである。Fig. 4～Fig. 6 で明らかにのようにエンジン運転停止直後から冷却水温度が一旦上昇し、ガスケットの温度が下降するオーバーシュート

Table 3 Main Specifications of the Gap Sensor

Items		Values
Outer Diameter	mm	φ 6
Thickness	mm	0.86
Measuring Range	μm	0-100
Output/Resolution		0-100 mV/0.1 mm

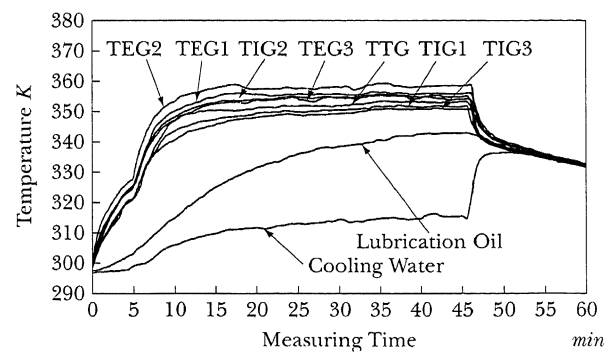


Fig. 4 Temperature Change of Cylinder Head Gasket (Soft Facing Gasket Perforated Core, Engine Operation for 45 Minutes)

(Overshoot) 現象が生じている。停止約8分後から各部位の温度がほぼ収束し温度が低下する。これにより温度の高いガスケットと温度の低い冷却水の熱容量の差によって、お互いが引きつけ合うことになる。1/2 負荷運転において各ガスケットの吸気側、排気側温度を比較すると排気側の温度が高い。ガスケットごとに比較するとスチールベストガスケットは非石綿繊維および充てん剤の

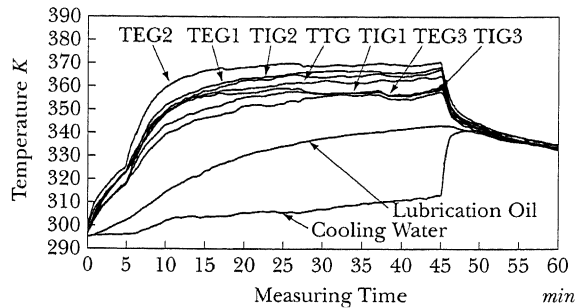


Fig. 5 Temperature Change of Cylinder Head Gasket (Soft Facing Gasket Flat Core, Engine Operation for 45 Minutes)

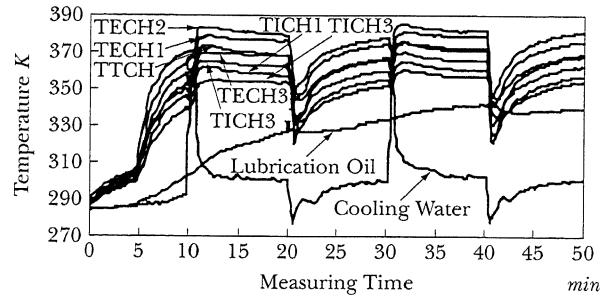


Fig. 8 Temperature Changes of Cylinder Head Gasket (Soft Facing Gasket Perforated Core, Heating and Cooling Cycles Engine Operation for 50 Minutes)

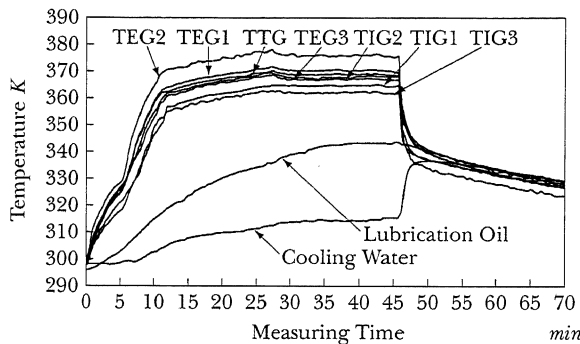


Fig. 6 Temperature Change of Cylinder Head Gasket (Metal Gasket, Engine Operation for 45 Minutes)

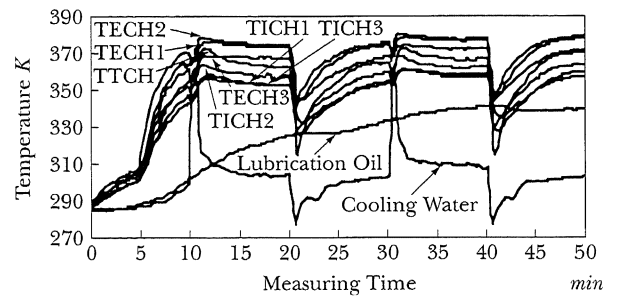


Fig. 9 Temperature Changes of Cylinder Head Gasket (Soft Facing Gasket Flat Core, Heating and Cooling Cycles Engine Operation for 50 Minutes)

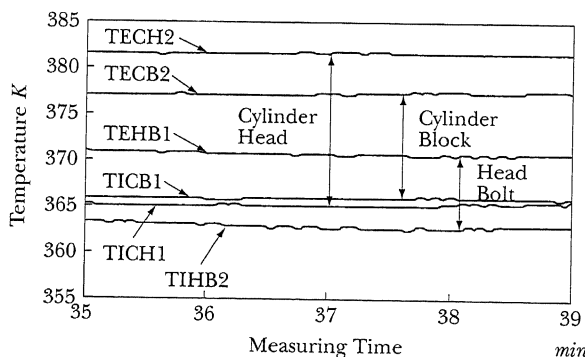


Fig. 7 Temperatures of Cylinder Head, Cylinder Block and Cylinder Head Bolt

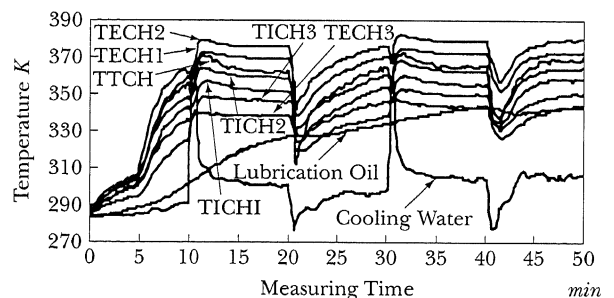


Fig. 10 Temperature Changes of Cylinder Head Gasket (Metal Gasket, Heating and Cooling Cycles Engine Operation for 50 Minutes)

混合物が断熱材としての役割を果たしており、他のガスケットと比較しても温度が低い。また、メタルガスケットはゴムコーティング層が薄く、金属層が厚いため熱伝導性が極めて良く、ガスケット全体の温度も高くなっている。ソフトラミネートガスケットの温度はスチールベストガスケットとメタルガスケットの間にある。これは、ソフトラミネートガスケットの表面剤の材質および層の厚さに起因している。なお、潤滑油温度はガスケット周辺の温度に影響しない。Fig. 7はスチールベストガスケットについて、シリンダヘッドおよびヘッドボルトの吸気側および排気側の代表点における定常状態の温度

を一つにまとめたものである。実験開始35分～39分付近における各部の排気側と吸気側の温度に着目し、その温度差を比較すると、シリンダブロックよりシリンダヘッドに関して排気側と吸気側の温度差が大きい。また、ヘッドボルトは温度差が最も少ない。

4.2 特性試験Ⅱの結果および考察

(1) 温度測定結果および検討

加熱・冷却サイクルを導入した際の温度測定結果をFig. 8～Fig. 10に示す。冷却水を入れ換えることにより、当然のことであるがガスケットの温度は温水を入ると上昇し（一時的な温度低下はある）、冷水を入れる

と急下降している。この降下の現象は冷水とガスケット周辺との温度差が温水の場合よりも大きいことに起因する。また、シリンダブロック、ヘッドボルトについても同様に冷却水を入れ換えるたびに各部の温度が上昇、下降している。これらの図の比較よりガスケットの過渡的な温度変化がほぼなくなった状態においては、スチールベストガスケット、ソフトラミネートガスケットおよびメタルガスケットの順に温度が高い。また、吸気側、排気側で比較した場合に排気側の温度が高い。しかしながら、排気側は吸気側に比べ各ガスケット間の温度差が少ない。冷却水入れ換え時の温度変化については、メタルガスケットが熱伝導性に優れているために、冷却水温度の変化に対する追従性が良い。吸気側はメタルガスケット、ソフトラミネートガスケットおよびスチールベストガスケットの順に温度変化が小さくなっているのが顕著に現れている。さらに、ガスケット自身の熱伝導性によりスチールベストガスケットはベースシートが断熱材の役割を果たしているため、吸気側と排気側との温度差が大きい。しかしながら、メタルガスケットはベースシートの主材がステンレス鋼板であるため熱伝導性が良く温度差がスチールベストガスケットと比較して少ない。冷却水を冷水に入れ換えた際のシリンダヘッドの過渡的な温度変化を、交換前後を含めて Fig. 11 に示す。冷却水を冷水に入れ換える直前の温度が定常の状態では最も温度の高い箇所が排気側の TECH2（排気ポート付近）で、最も温度の低い箇所は吸気側の TICH1（吸気ポート付近）となったことから、シリンダヘッドでは排気管温度の影響が大きいと考えられる。また、冷却水を冷水に入れ換えた直後（41分付近）の温度状況は測定点 TTCH（冷却水側ボルト間中間位置付近）の温度が最も低く、水穴に近いこともあり冷却水温度の影響を受けている。シリンダブロックについても温度を測定した結果、シリンダヘッドと同様に冷却水を冷水に入れ換えた直後は、水穴部に最も近い測定点 TTCB の温度が最も低くなった。冷却水を冷水に入れ換える直前と直後でのヘッドボルト付近の温度変化を把握するため、シリンダ

Table 4 Temperature Differences among Cylinder Head, Cylinder Block and Cylinder Head Bolt

Unit: degree

Measuring Points	Temperature Difference at 39 Minutes	Temperature Difference at 41 Minutes
TECH1-TICB2	3.71	8.60
TECH3-TECB3	2.60	6.29
TICH1-TICB1	0.21	4.50
TICH3-TICB3	1.19	4.00
TECH1-TEHB1	5.81	10.80
TECH3-TEHB2	5.90	6.50
TICH1-TIHB1	1.40	6.50
TICH3-TIHB2	4.79	7.19

ヘッドとシリンダブロックおよびシリンダヘッドとヘッドボルトのそれぞれ対応する位置における温度差を Table 4 に示す。各測定箇所の温度がほぼ一定状態である冷水を入れる直前(39分)の温度差は、排気側が大きく、また、冷水を入れ換えた直後(41分)は、排気側および吸気側の両者の測定点で温度差が大きくなり、冷却水温度の影響を大きく受けていることがわかる。さらに、シリンダヘッドとヘッドボルトの温度差がシリンダヘッドとシリンダブロックの温度差より大きい。次にガスケット周辺の温度変化状況を把握するために、冷却水を冷水に入れ換えた際のシリンダヘッドおよびヘッドボルトの温度変化について、吸気側・排気側および排気側のみに着目し、それぞれ Fig. 12 および Fig. 13 に示す。冷水に入れ換えた後の吸排気側ガスケット周辺の温度に関しては、シリンダヘッドの温度が急激に降下するのに対して、ヘッドボルトの温度は緩やかに降下することがわかる。また、ヘッドボルトの温度とシリンダヘッドの温度が最低温度に達するまでの時間に位相差が生じているため、ヘッドボルトの温度が最低になる時に、シリンダヘッドの温度がすでに上昇を始めている。このことよりヘ

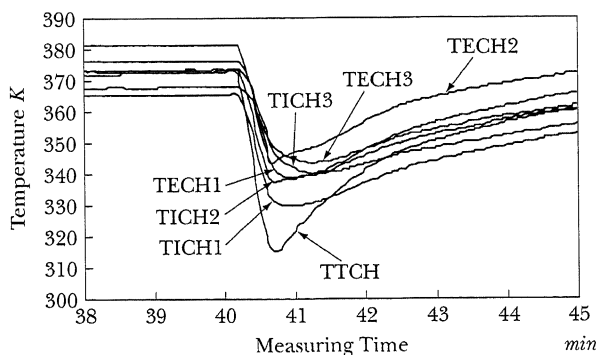


Fig. 11 Temperature Changes of Cylinder Head from 38 to 45 Minutes (Exchange of Cooling Water)

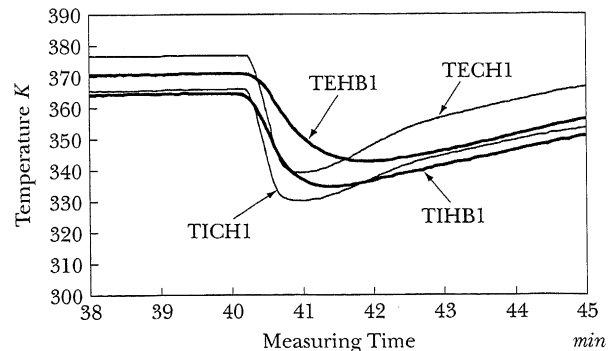


Fig. 12 Temperature Changes of Cylinder Head and Head Bolt on Intake Side and Exhaust Side

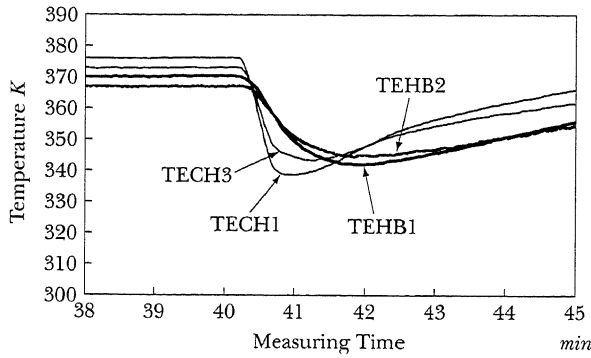


Fig. 13 Temperature Changes of Cylinder Head and Head Bolt on Exhaust Side

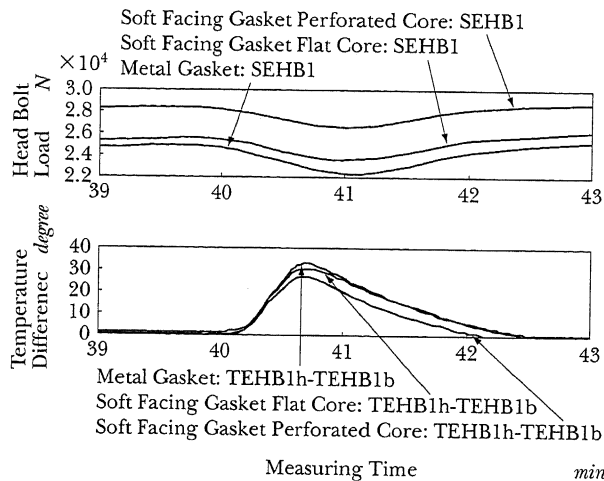


Fig. 14 Head Bolt Load and Temperature Difference of Head Bolt on Exhaust Side (39 to 43 Minutes)

ッドボルトとその周辺とは温度変化に時間的な位相差が生じるため、ヘッドボルトの軸力に影響すると考えられる。

(2) ヘッドボルトの軸力変化の検討

ヘッドボルトのヘッド側およびブロック側の温度差に着目して、ヘッドボルト軸力変化との関係の一例として排気側について Fig. 14 に示す。なお、ヘッドボルトの軸力の値は各サイクルごとの最大値を用いている。排気側では冷却水を冷水に入れ換えると、ヘッドボルトのヘッド側とブロック側の温度差はガスケットにより異なる。その結果、最も温度差の大きいメタルガスケット装着時では、ヘッドボルト軸力の低下量が最も大きく、温度差の最も小さいスチールベストガスケット装着時ではヘッドボルトの軸力低下量が最も小さい。吸気側では排気側に比べて各ガスケット装着時の違いによる温度差が顕著には現れていないが、ヘッドボルト軸力の低下量が最も大きかったのはメタルガスケット装着時であった。また、排気管温度の影響を受ける排気側のヘッドボルト軸力は吸気側のボルト軸力より低い。

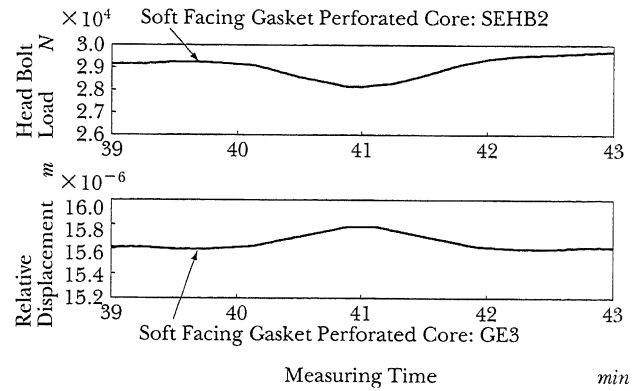


Fig. 15 Head Bolt Load and Relative Displacement between Cylinder Head and Cylinder Block (Soft Facing Gasket Perforated Core)

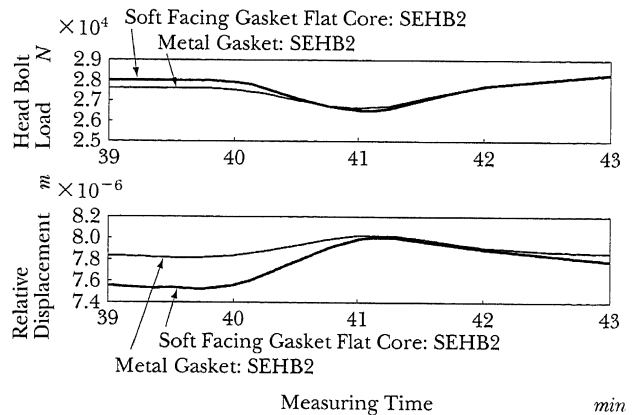


Fig. 16 Head Bolt Load and Relative Displacement between Cylinder Head and Cylinder Block (Soft Facing Gasket Flat Core, Metal Gasket)

(3) シリンダヘッドとシリンダブロック間の相対変位とヘッドボルト軸力の関係

冷却水を冷水に入れ換えた際のシリンダヘッドおよびシリンダブロック間の相対変位とヘッドボルトの軸力変化を排気側に着目し比較した結果を Fig. 15 および Fig. 16 に示す。なお、相対変位はヘッドボルトの軸力と同様に各サイクルの最大値を用いている。これらの結果より冷却水に入れ換えた際、シリンダヘッドとシリンダブロック間の相対変位は増加する。これは、ヘッドボルトの軸力が低下することにより、ヘッドボルトの締め付け力が低下し、シリンダヘッドとシリンダブロック間の相対的な変位が増加したためである。また、スチールベストガスケット装着時のシリンダヘッドおよびシリンダブロック間の相対変位が大きく現れたのは、エンジン運転中の熱負荷と燃焼圧力による激しい衝撃の繰り返しでガスケットがへたったことに起因している。シリンダヘッドおよびシリンダブロック間の相対変位はヘッドボルト軸力の変化による影響が大きく、シリンダヘッドおよびブロック間の面圧確保にも影響を及ぼすことがわかる。

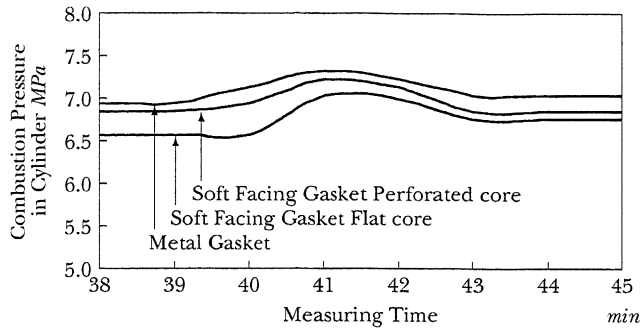


Fig. 17 Maximum Combustion Pressure in Cylinder (38 to 45 Minutes)

(4) 燃焼圧力の測定結果の検討

冷却水を冷水に入れ換えた際、各ガスケット装着時におけるシリンダ内の最高燃焼圧力の変化を Fig. 17 に示す。なお、燃焼圧力の値は各サイクルごとの最大値を用いている。冷水に入れ換えた際に最高燃焼圧力は上昇する。これは、冷水によって吸気ポートが冷却されたことにより、充てん効率が向上したためである。

(5) シリンダヘッドとシリンダブロック間の相対変位とヘッドボルトおよび燃焼圧力の関係

冷却水を冷水に入れ換えた際、シリンダヘッドおよびシリンダブロック間の相対変位の増加がヘッドボルト軸力の低下によるものか、燃焼圧力の増加によるものかを検討するために、排気側における相対変位の増加量とボルト軸力の増加量の関係を Fig. 18 に示す。ただし、増加量は変化が始まる40分から41分付近の増加量に着目し、燃焼圧力はヘッドボルト1本分の軸力に換算して示した。この結果から当然のことではあるが、ヘッドボルトの軸力が低下すると相対変位が増加し、燃焼圧力が増加すると相対変位が増加する傾向が各ガスケット装着時に現れた。このことから、シリンダヘッドとシリンダブロック間の相対変位は両者の影響を受けていると考えられる。しかし、両者の直線（近似）の勾配の絶対値を比較すると、ヘッドボルトの勾配の方が大きい。これより、燃焼圧力よりヘッドボルトの軸力の変化の方が相対変位の増加に大きく影響を与えることがわかる。

(6) ガスケットの熱伝導特性

供試エンジンは水冷式横型であるので排気側および吸気側の各測定点において、ガスケットの上方が下方に比べ温度が高い。この現象は、熱が上方へ移動すること起因している。メタルガスケットは、熱伝導性がよく、ガスケットの温度は吸気側および排気側の各位置においてほぼ同一温度となる。メタルガスケットはエンジン停止後の温度の低下率がスチールベストガスケットに比べて大きい。

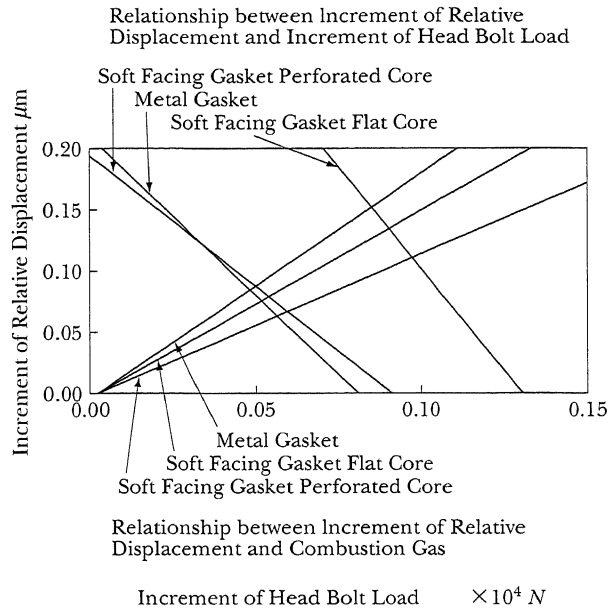


Fig. 18 Relationship between Increments of Relative Displacement and Head Bolt Load

5. ま と め

本研究では、材質および構造の異なる3種類のシリンダヘッドガスケット（スチールベストガスケット、ソフトラミネートガスケット、メタルガスケット）を対象として、定常運転および加熱・冷却サイクルを導入した運転にて特性試験をすることにより、ガスケットの温度特性等について実験的に検討を加えた。そのまとめとして、

- (1) エンジン停止後のガスケット温度は、停止してから各測定点ではほぼ一定温度となり、その後一本の束となって低下する。
- (2) 実機運転時において、各ガスケットの温度は排気側の温度が高い。
- (3) 実機運転時の各ガスケットの温度は、スチールベストガスケット、ソフトラミネートガスケット、メタルガスケットの順に温度が高くなっている。
- (4) 実機運転時の各ガスケット間の温度差は、排気側が吸気側に比較して小さい。
- (5) エンジン冷却水温度を急激に変化させた加熱・冷却サイクル中における冷却水温度変化への追従性は、メタルガスケットが一番良く、次にソフトラミネート、スチールベストガスケットの順である。
- (6) 各ガスケットの吸気側および排気側の各測定点間の温度差は、メタルガスケットが一番小さく、ソフトラミネート、スチールベストガスケットの順である。
- (7) 冷却水を冷水に入れ換える前のシリンダヘッド、シリンダブロックおよびヘッドボルトの各位置にお

ける温度はほぼ一定の温度差がある。また、排気側と吸気側との温度が一番大きいのはシリンダヘッドである。

- (8) 冷却水を冷水に入れ換えた直後にヘッドボルトの軸力は低下する。これは、シリンダヘッドとヘッドボルトの温度差が大きくなることに起因している。
- (9) シリンダヘッドとシリンダブロック間の相対変位はヘッドボルトの軸力の低下量に大きく影響される。
- (10) ヘッドボルトのヘッド側の温度変化はシリンダヘッド、シリンダブロックおよびヘッドボルトのブロック側に比べ時間的位相差が大きく変化が遅い。
- (11) ガasketのの違いでヘッドボルト側およびシリンダブロック側の温度に差が生じるので、その温度差が大きいほどヘッドボルトの軸力の低下量も大きい。また、排気側の軸力低下が吸気側に比べ大きい。
- (12) シリンダヘッドとシリンダブロック間の相対変位はヘッドボルトの軸力変化による締付力の変化が大きく影響する。

謝辞：本研究を遂行するに当たり御助言・御協力いただいた株式会社マルサンの相沢収氏、宇野恒男氏および薬師寺正人氏に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] 若林, 児玉, 宇野ほか：シリンダヘッドガスケットの特性に関する実験的研究, 国士館大学工学部紀要, 第16号 (1983) P.45-58.
- [2] 宇田川：エンジン軽量化とガスケットシーリング, 内燃機関, Vol. 34, No. 426 (1995).
- [3] 清水, 前田：メタルガスケット, 内燃機関, Vol. 28, No.356 (1989).
- [4] O. Aizawa, T. Uno, M. Yakushiji, K. Wakabayashi, T. Nishihara, T. Kodama: Effect of Circulating Water Temperature Change on Sealing Performance of Cylinder Head Gaskets of Diesel Engine, SAE Paper 2000-01-0529 (2000) P.1-6.
- [5] F. Koch, F. Maassen, U. Deuster, M. Loeprecht, H. Markward: Low Cycle Fatigue of Aluminum Cylinder Heads- Calculation and Measurement of Strain under Fired Operation-, SAE Paper 1990-01-0645 (1991).
- [6] D. E. Czernik, J. C. Moerk, Jr.: The Relationship of a Gasket's Physical Properties to the Sealing Phenomenon, SAE Paper 650431 (1965) P.350-364.
- [7] 高梨, 西郷, 宇野ほか：ディーゼルエンジン用シリンダヘッドガスケットのシール性評価に関する一考察, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 842 (1984).
- [8] 北島：シリンダヘッドガスケットの合わせ面の挙動について, 日野技報, No.28 (1980) P.44-47.
- [9] B. G. J. Williams, M. C. Bannard: Cylinder Head Gasketing Problems in Bi-Metallic Engines, SAE Paper 840189 (1984) P.1-6.
- [10] D. E. Czernik, R. S. Pearlstein, J. C. Amodeo: Investigation of the Cylinder Head to Crankcase Motions on a Specific Bimetal, SAE Paper 921725 (1992).
- [11] Terrence T. Connelly, Jeffrey E. Spencer: Automated Control System for Thermal Shock Engine Testing, SAE Paper 880141 (1988).
- [12] Gary C. Fell, Robert F. Kovarik, Jr.: Test Method for Predicting Engine Cylinder Head Gasket Performance, SAE Paper 851565 (1985) P.1-8.
- [13] T. Yanagisawa, M. Teramoto: Optimum Design of Cylinder Head Gasket and Related Techniques, SAE Paper 861376 (1986).
- [14] 貴島, 児玉, 西原, 若林ほか：シリンダヘッドガスケットの動的特性に関する研究, 自動車技術会1998年秋季大会学術講演会前刷集講演論文, No. 80, No. 9838660 (1998) P.1-4.
- [15] 貴島, 本山, 宇野, 薬師寺, 相沢, 児玉, 西原, 若林：ディーゼルエンジン用シリンダヘッドガスケットの動的特性に関する研究—加熱冷却サイクル導入時の過渡的特性—, 自動車技術会1999年秋季大会学術講演会前刷集, No. 227, No. 9941755 (1999) P.13-16.
- [16] 本山, 児玉, 西原, 若林ほか：ディーゼルエンジン用シリンダヘッドガスケットの動的特性—加熱冷却サイクル導入時の過渡的特性について—, 自動車技術会2000年春季大会学術講演会前刷集, No. 251, No. 20005168 (2000) P.13-16.
- [17] 本山, 児玉, 西原, 若林ほか：ディーゼルエンジン用シリンダヘッドガスケットの動的特性に関する実験的研究—加熱冷却サイクル・定常運転時の特性について—, 自動車技術会2000年秋季大会学術講演会前刷集, No. 47, No. 20005576 (2000) P.5-8.